



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 101 61 234 A 1

51 Int. Cl. 7:
H 01 M 8/04

21 Aktenzeichen: 101 61 234.6
22 Anmeldetag: 13. 12. 2001
43 Offenlegungstag: 11. 7. 2002

DE 101 61 234 A 1

30 Unionspriorität:
749298 27. 12. 2000 US

71 Anmelder:
Plug Power, L.L.C., Latham, N.Y., US

74 Vertreter:
Zenz, Helber, Hosbach & Partner, 45128 Essen

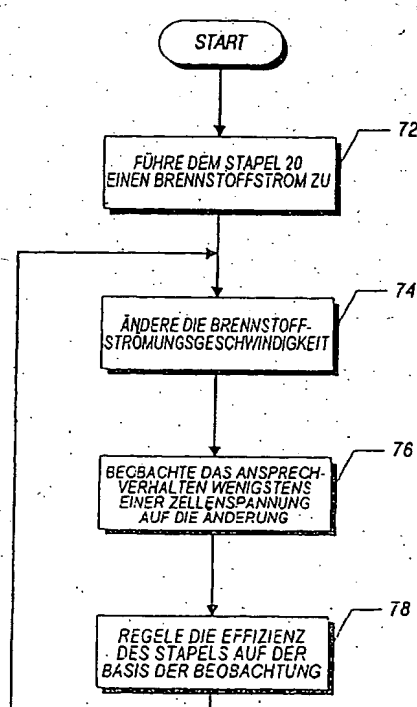
72 Erfinder:
Hallum, Ryan, Latham, N.Y., US; Kueckels, Eric,
Niskayuna, N.Y., US; Torpey, Mark, Saratoga
Springs, N.Y., US; Ballantine, Arne, Round Lake,
N.Y., US; Graham, Richard J., Scotia, N.Y., US;
Solodow, Adam, Ballston Spa, N.Y., US; Comi,
Chris, Scotia, N.Y., US

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Technik zum Regeln der Effizienz eines Brennstoffzellensystems

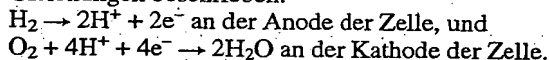
57 Die im Zusammenhang mit einem Brennstoffzellenstapel verwendbare Technik umfaßt, daß dem Stapel ein Brennstoffstrom zugeführt wird (72), daß der Brennstoffstrom geändert wird (74) und das Ansprechverhalten wenigstens einer Zellenspannung des Stapels auf die Änderung des Brennstoffstroms beobachtet wird (76). Die Effizienz des Stapels wird auf der Basis der Beobachtung geregelt (78).



DE 101 61 234 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Brennstoffzellenstapels sowie ein Brennstoffzellensystem. Ferner betrifft die Erfindung eine Einrichtung mit einem computerlesbaren Speichermedium und eine Steuereinrichtung zur Verwendung mit einem Brennstoffprozessor und einem Zellenspannungen liefernden Brennstoffzellenstapel.

[0002] Eine Brennstoffzelle ist ein elektrochemisches Bauelement, das durch eine Reaktion erzeugte chemische Energie direkt in elektrische Energie umwandelt. Beispielsweise umfaßt eine Art von Brennstoffzellen eine Polymer-elektrolytmembran (PEM; Polymer Electrolyte Membrane), die häufig Protonenaustauschmembrane genannt wird und die nur Protonen das Wandern zwischen einer Anode und einer Kathode der Brennstoffzelle gestattet. Die Membran ist eingebettet zwischen einer Anodenkatalysatorschicht auf der einen Seite und einer Kathodenkatalysatorschicht auf der anderen Seite. Diese Anordnung wird allgemein als Membranelektrodenanordnung (MEA; Membrane Electrode Assembly) bezeichnet. An der Anode wird zweiatomiger Wasserstoff (ein Brennstoff) oxidiert, um Wasserstoffprotonen zu erzeugen, die durch die PEM hindurchtreten. Die durch diese Oxidation erzeugten Elektronen fließen durch eine Schaltung, die sich außerhalb der Brennstoffzelle befindet, wobei sie einen elektrischen Strom bilden. An der Kathode wird Sauerstoff reduziert, der mit den Wasserstoffprotonen reagiert, wobei Wasser gebildet wird. Die anodischen und kathodischen Reaktionen werden durch die folgenden Gleichungen beschrieben:



[0003] Eine typische Brennstoffzelle weist eine Anschlußspannung von ungefähr einem Volt Gleichspannung (DC) auf. Zur Erzeugung erheblich höherer Spannungen können mehrere Brennstoffzellen zusammengesetzt werden, wobei sie eine Brennstoffzellenstapel genannte Anordnung bilden, bei der die Brennstoffzellen miteinander elektrisch in Reihe geschaltet sind, um eine höhere Gleichspannung (beispielsweise eine Gleichspannung von ungefähr 100 V) und eine größere Leistung bereitzustellen.

[0004] Der Brennstoffzellenstapel kann Flußplatten (beispielsweise Graphitverbund- oder Metallplatten) umfassen, die aufeinander gestapelt sind und die jeweils mehr als einer Brennstoffzelle des Stapels zugeordnet sein können. Die Platten können verschiedene Fließkanäle und Öffnungen aufweisen, um beispielsweise die Reaktanten und Reaktionsprodukte durch den Brennstoffzellenstapel zu leiten. Mehrere (jeweils einer bestimmten Brennstoffzelle zugeordnete) PEMs können zwischen den Anoden und Kathoden der verschiedenen Brennstoffzellen im Stapel verteilt sein. Elektrisch leitfähige Gasdiffusionsschichten (GDLs; Gas Diffusion Layers) können auf beiden Seiten jeder PEM angeordnet sein, um die Anode und Kathode jeder Zelle zu bilden. Auf diese Weise können Reaktantengase von beiden Seiten der PEM die Fließkanäle verlassen und durch die GDLs bis zu der PEM diffundieren. Die PEM und ihr angrenzendes Elektrodenpaar werden oft zu einer Einheit zusammengebaut, die manchmal Membranelektrodenanordnung (MEU; Membrane Electrode Unit) genannt wird.

[0005] Ein Brennstoffzellensystem kann einen Brennstoffprozessor enthalten, der einen Kohlenwasserstoff (beispielsweise Erdgas, Propanmethanol) in den Brennstoff für den Brennstoffzellenstapel umwandelt. Für eine bestimmte Ausgangsleistung des Brennstoffzellenstapels müssen die Brennstoff- und Oxidationsmittelströme zu dem Stapel bestimmten stöchiometrischen Verhältnissen genügen, die

durch die oben beschriebenen Gleichungen vorgegeben sind. Somit kann eine Steuereinrichtung des Brennstoffzellensystems die Ausgangsleistung des Stapels überwachen und auf der Basis der überwachten Ausgangsleistung den Brennstoff- und Luftstrom abschätzen, die den vorgegebenen stöchiometrischen Verhältnissen genügen. Dabei regelt die Steuereinrichtung den Brennstoffprozessor derart, daß er diesen Strom erzeugt, und schätzt als Reaktion auf eine von ihr detektierte Änderung der Ausgangsleistung eine neue Brennstoff- und Luftströmungsrate bzw. -geschwindigkeit ab und steuert den Brennstoffprozessor entsprechend.

[0006] Aufgrund nicht-idealer Eigenschaften des Stapels, kann es schwierig sei, die für eine vorgegebene Ausgangsleistung benötigte Brennstoff- und Luftströmungsrate genau vorherzusagen. Daher kann die Steuereinrichtung mit einer ausreichenden Fehlertoleranz arbeiten, indem sie den Brennstoffprozessor veranlaßt, mehr Brennstoff und/oder mehr Luft bereitzustellen, als erforderlich ist um sicherzustellen, daß den Zellen des Stapels genügend Brennstoff zugeführt wird und diese somit nicht mangels Brennstoff oder Luft "hungern". Eine derartige Steuertechnik kann jedoch sehr ineffizient sein, da der Brennstoffzellenstapel üblicherweise nicht den gesamten einströmenden Brennstoff verbraucht, wodurch unverbrauchter Brennstoff übrigbleibt, der von einem Oxidierer des Brennstoffzellensystems abgefackelt werden kann.

[0007] Aufgabe der Erfindung ist es daher, den oben genannten Nachteil zu vermeiden.

[0008] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1, durch ein Brennstoffzellensystem mit den Merkmalen des Anspruchs 16, durch eine Einrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 29 sowie durch eine Steuereinrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 35 gelöst.

[0009] Bei einer Ausführungsform der Erfindung wird einem Brennstoffzellenstapel ein Brennstoffstrom zugeführt, der Brennstoffstrom wird geändert und es wird das Ansprechverhalten wenigstens einer Zellenspannung des Stapels auf die Änderung des Brennstoffstroms beobachtet. Die Effizienz des Stapels wird auf der Basis der Beobachtung geregelt.

[0010] Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

[0011] Im folgenden wird die Erfindung anhand von in den Zeichnungen dargestellten bevorzugten Ausführungsformen beschrieben. In den Zeichnungen zeigen:

[0012] Fig. 1 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems;

[0013] Fig. 2, 3, 4, 5, 6 und 8 Ablaufdiagramme, die erfindungsgemäße Techniken zum Regeln der Effizienz des Brennstoffzellensystems veranschaulichen;

[0014] Fig. 7 eine Darstellung von Zellen des Brennstoffzellenstapels gemäß einer Ausführungsform der Erfindung; und

[0015] Fig. 9 eine schematische Darstellung einer Zellenspannungsüberwachungsschaltung des erfindungsgemäßen Systems gemäß Fig. 1.

[0016] Gemäß Fig. 1 umfaßt eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems 10, einen Brennstoffzellenstapel 20, der Energie für einen Verbraucher (beispielsweise einen Verbraucherhaushalt) erzeugen kann, und zwar in Abhängigkeit von Brennstoff- und Oxidationsmittelströmen, die von einem Brennstoffprozessor 22, bzw. einem Luftgebläse 24 bereitgestellt werden. Dabei steuert das Brennstoffzellensystem 10 die Brennstoffproduktion des Brennstoffprozessors 22, um die Strömungsgeschwindigkeit zu steuern, mit der ein Brennstoff dem Brennstoffzellenstapel 20 zugeführt wird. Wie im folgenden be-

schrieben, stützt das Brennstoffzellensystem 10 seine Regelung des Brennstoffprozessors 22 (wenigstens teilweise) auf gemessene Zellenspannungen des Brennstoffzellenstapels 20, da das System 10 eine oder mehrere dieser gemessenen Zellenspannungen als Hinweis darauf verwendet, wie effizient das Brennstoffzellensystem 10 arbeitet.

[0017] Es wird nun auf Fig. 2 Bezug genommen. Bei einigen erfindungsgemäßen Ausführungsformen verwendet das System 10 eine Technik 70, um die Effizienz des Brennstoffzellenstapels 20 im Hinblick auf den Brennstoffstrom zu steuern. Gemäß der Technik 70 wird dem Brennstoffzellenstapel 20 ein Brennstoffstrom zugeführt (Block 72) und die Strömungsgeschwindigkeit wird geändert (Block 74). Das Ansprechverhalten wenigstens einer Zellenspannung auf diese Änderung wird beobachtet (Block 76) und die Effizienz des Brennstoffzellenstapels 20 wird auf der Basis dieser Beobachtung geregelt (Block 78). Da sich die Ausgangsleistung des Brennstoffzellenstapels 20 sich mit der Zeit verändern kann und da sich das Verhalten des Stapels 20 selbst mit der Zeit ändern kann, kann die Technik 70 umfassen, daß zum Block 74 zurückgekehrt wird und die Blöcke 74, 76 und 78 als Schleife kontinuierlich durchlaufen werden.

[0018] Bei einigen Ausführungsformen der Erfindung enthält das Brennstoffzellensystem 10 eine Zellenspannungsüberwachungsschaltung 40 (siehe Fig. 1), um die Zellenspannungen zu messen und die gemessenen Zellenspannungen anzeigende Signale (beispielsweise über einen seriellen Bus 48) an eine Steuereinrichtung 60 des Systems 10 zu übertragen. Die Steuereinrichtung 60 führt ein (in einem Speicher 63 der Steuereinrichtung 60 gespeichertes) Programm 65 aus, um die gemessenen Spannungen zum Steuern des Brennstoffprozessors 22 zur Ausführung der Technik 70 zu verwenden. Dabei kann die Ausführung des Programms 65 bei einigen Ausführungsformen der Erfindung die Steuereinrichtung 60 veranlassen, eine in Fig. 3 dargestellte Routine 100 auszuführen.

[0019] Es wird auf die Fig. 1 und 3 Bezug genommen. Die Routine 100 kann beispielsweise nach dem Einschalten des Brennstoffzellensystems 10 aus einem Abschaltzustand gestartet werden. In der Routine 100 legt die Steuereinrichtung 60 die Brennstoffströmungsgeschwindigkeit genau fest, die den stöchiometrischen Verhältnissen für die vorgegebene Ausgangsleistung des Brennstoffzellenstapels 20 genügt, so daß keine beträchtlichen Mengen von unverbrauchtem Brennstoff erzeugt werden. Somit optimiert die Routine 100 die Effizienz des Brennstoffzellenstapels 20 hinsichtlich des Brennstoffstroms.

[0020] In der Routine 100 regelt die Steuereinrichtung 60 den Brennstoffprozessor 22 derart, daß der Brennstoffstrom zum Stapel 20 um ein vorgegebenes Maß verringert wird, wie im Block 102 gemäß Fig. 3 dargestellt ist. Dieses vorgegebene Maß kann beispielsweise ein fester Betrag oder ein bestimmter Prozentsatz der aktuellen Strömungsgeschwindigkeit sein. Als nächstes erhält die Steuereinrichtung 60 die Zellenspannungen anzeigende Signale (Block 104). Bei einigen Ausführungsformen kann die Zellenspannungsüberwachungsschaltung 40 der Steuereinrichtung 60 beispielsweise über den seriellen Bus 48 Signale zur Verfügung stellen, die die zuletzt gemessenen Zellenspannungen anzeigen. Je nach der speziellen Ausführungsform der Erfindung kann die Zellenspannungsüberwachungsschaltung 40 die die Spannungen anzeigenden Signale auf eine Anforderung der Steuereinrichtung 60 hin liefern oder sie kann die Signale periodisch liefern, um nur einige Beispiele zu nennen.

[0021] Die Steuereinrichtung 60 bestimmt nach dem Empfang der die Zellenspannung anzeigenden Signale anhand der Zellenspannungen (Raute 106), ob die Effizienz des Brennstoffzellenstapels 20 im Hinblick auf den Brenn-

stoffstrom verbessert werden kann. Wenn die Zellenspannungen nach der Verringerung des Brennstoffstroms anzeigen, daß dem Brennstoffzellenstapel 20 genügend Brennstoff zugeführt wird, kehrt die Steuerung bei einigen Ausführungsformen zum Block 102 zurück und verringert den Strom erneut. Ansonsten hat die Steuereinrichtung 60 den Brennstoffstrom zur Optimierung der Effizienz genau festgelegt und regelt den Brennstoffprozessor 22 derart, daß er den Brennstoffstrom um ein vorgegebenes Maß erhöht (Block 108), um auf diese Weise zu der Strömungsgeschwindigkeit für den Brennstoff zurückzukehren, welche vor der letzten Verringerung herrschte. Wenn die Steuereinrichtung den Brennstoffstrom um 5 Prozent verringert und anschließend aufgrund der Beobachtung des Ansprechverhaltens der Zellenspannungen feststellt, daß die Effizienz nicht verbessert werden kann, erhöht die Steuereinrichtung 60 den Brennstoffstrom um 5,26 Prozent, um zu dem Pegel vor der Verringerung zurückzukehren. Der Grad der Erhöhung und/oder Verringerung kann variiert werden.

[0022] Nach der Erhöhung des Brennstoffstroms führt (Block 110) die Steuereinrichtung 60 anschließend eine Verzögerung einer vorgegebenen Zeitdauer (beispielsweise um 1 bis 5 Minuten) herbei, bevor sie zum Block 102 zurückkehrt. Das Zurückkehren zum Block 102 ist erforderlich, um sich ggf. ändernde Betriebsbedingungen zu berücksichtigen, die beispielsweise auf eine Alterung des Stapels 20, auf eine Änderung der von dem Verbraucher 50 angeforderten Leistung o. dgl. zurückzuführen sind.

[0023] Man beachte, daß im Zusammenhang mit der Routine 100 andere Steuerschleifen verwendet werden können. Beispielsweise kann die Steuereinrichtung 60 den Brennstoffstrom in Abhängigkeit von einer überwachten Ausgangsleistung des Brennstoffzellenstapels 20 einstellen. Jedoch arbeitet die Steuereinrichtung 60 weiter mit der von der Routine 100 gelieferten Steuerung, um die Effizienz des Brennstoffzellenstapels 20 bezüglich des Brennstoffstroms zu verbessern.

[0024] Bei einigen erfindungsgemäßen Ausführungsformen kann eine andere Schaltung als die Steuereinrichtung 60 zur Ausführung eines oder mehrerer Teile der Routine 100 verwendet werden. Beispielsweise kann bei einigen Ausführungsformen der Erfindung die Zellenspannungsüberwachungsschaltung 40 bestimmen, ob die Effizienz verbessert werden kann, und der Steuereinrichtung 60 auf der Basis dieser Bestimmung anzeigen, ob der Brennstoffstrom zu erhöhen oder zu verringern ist. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird in der folgenden Beschreibung angenommen, daß die Steuereinrichtung 60 bestimmt, ob die Effizienz verbessert wird, obwohl Abweichungen hiervon möglich sind.

[0025] Für die Steuereinrichtung 60 gibt es zahlreiche Möglichkeiten, um zu bestimmen, ob die Effizienz verbessert werden kann. Beispielsweise zeigt Fig. 4 eine Routine 120, die die Steuereinrichtung 60 für diese Bestimmung ausführen kann (wenn sie das Programm 65 ausführt). Bei der Routine 120 ruft die Steuereinrichtung 60 ein die Zellenspannungen anzeigendes Signal einzeln ab oder liest diese, um festzustellen, ob eine der Zellenspannungen anzeigt, daß es der zugehörigen Zelle an genügend Brennstoff mangelt. Dabei liest die Steuereinrichtung 60 (Block 122) die nächste von der Zellenspannungsüberwachungsschaltung gelieferte Zellenspannung und vergleicht (Block 124) die Zellenspannung mit einem vorgegebenen Schwellwert (beispielsweise einer Spannung zwischen -0,5 und 0,5 Volt). Wenn eine Zelle des Brennstoffzellenstapels 20 mangels Brennstoff hungert, fällt die Spannung der Zelle deutlich, und dieser Abfall wird durch den Vergleich der Zellenspannung mit dem vorgegebenen Schwellwert erfaßt. Wenn die Steuerein-

richtung 60 somit bestimmt (Raute 126), daß die Zellenspannung unterhalb des vorgegebenen Schwellwertes liegt, kehrt die Steuerung zum Block 108 (siehe Fig. 3) der Routine 100 zurück. Ansonsten bestimmt die Steuereinrichtung 60 (Raute 128), ob alle Zellenspannungen gelesen wurden. Falls nicht, liest die Steuereinrichtung 60 die nächste Zellenspannung (Block 122). Wenn alle Zellenspannungen gelesen wurden, kehrt die Steuerung zum Block 102 (siehe Fig. 3) der Routine 100 zurück.

[0026] Bei einigen Ausführungsformen kann ein Brennstoffstromgrenzwert für den Brennstoffstrom gesetzt werden, der verwendet werden kann, um die Zellen in dem akzeptierbaren Spannungsbereich zu halten. Wenn eine Zellenspannung beispielsweise nach der Erhöhung des Brennstoffstroms auf einen derartigen Grenzwert weiterhin unter dem vorgegebenen Spannungsschwellwert liegt, kann das Brennstoffzellensystem so programmiert sein, daß es sich beispielsweise selbst abschaltet oder ein eine niedrige Effizienz anzeigendes Signal oder einen Alarm aktiviert. Bei anderen Ausführungsformen kann das System bei Erreichen des Brennstoffstromgrenzwertes den Brennstoffstrom zurücksetzen und dann in ähnlicher Weise den Oxidationsmittelstrom erhöhen, um zu sehen, ob die niedrige Zellenspannung über den gewünschten Schwellwert gebracht werden kann. Die Brennstoff- und Oxidationsmittelströme können auch gleichzeitig verändert werden. Andere Ausführungsformen sind ebenfalls möglich.

[0027] Fig. 5 zeigt eine alternative Routine 140, die die Steuereinrichtung 60 verwenden kann, um zu bestimmen (Raute 106 gemäß Fig. 3), ob die Effizienz des Brennstoffzellenstapels 20 im Hinblick auf den Brennstoffstrom verbessert werden kann. Bei der Routine 140 liest die Steuereinrichtung 60 die Zellenspannungen einzeln, um zu bestimmen, ob eine der Zellenspannungen anzeigt, daß es der zugehörigen Zelle an genügend Brennstoff mangelt. Jedoch erlaubt es die Steuereinrichtung ED bei der Routine 140 anders als bei der Routine 100, daß eine bestimmte Anzahl von Zellenspannungen unter einen vorgegebenen Spannungsschwellwert fällt.

[0028] Dazu liest die Steuereinrichtung 60 (Block 142) bei der Routine 140 die nächste von der Zellenspannungsüberwachungsschaltung 40 gelieferte Zellenspannung und vergleicht (Block 144) die Spannung mit dem vorgegebenen Zellenspannungsschwellwert. Wenn die Steuereinrichtung 60 bestimmt (Raute 146), daß die Zellenspannung unter dem vorgegebenen Schwellwert liegt, dann bestimmt die Steuereinrichtung 60 (Raute 149), ob eine vorgegebene Anzahl (beispielsweise eine Anzahl zwischen 2 und 10) von Zellenspannungen unter den Schwellwert abgefallen ist. Falls ja, kehrt die Steuerung zum Block 108 (siehe Fig. 3) der Routine 100 zurück. Ansonsten geht die Steuerung zur Raute 148 weiter, das ist der Punkt, zu dem die Steuerung auch übergeht, wenn die Steuereinrichtung 60 bestimmt (Raute 146), daß die Zellenspannung nicht unter dem Zellenspannungsschwellwert liegt. Bei der Raute 148 bestimmt die Steuereinrichtung 60, ob alle Zellenspannungen gelesen wurden. Falls ja, geht die Steuerung zum Block 102 der Routine 100 weiter. Ansonsten kehrt die Steuerung zum Block 142 zurück, bei dem die Steuereinrichtung 60 die nächste Zellenspannung liest.

[0029] Fig. 6 zeigt eine weitere Routine 160, die die Steuereinrichtung 60 verwenden kann, um zu bestimmen (Raute 106 der Fig. 3 der Routine 100), ob die Effizienz des Brennstoffzellenstapels 20 verbessert werden kann. Bei der Routine 160 liest die Steuereinrichtung 60 alle von der Zellenspannungsüberwachungsschaltung 40 gelieferten Zellenspannungen. Als nächstes bestimmt die Steuereinrichtung 60 (Block 164) eine Standardabweichung für die Zellen-

spannungen. Wenn die Steuereinrichtung 60 bestimmt (Raute 166), daß die Standardabweichung über einem vorgegebenen Standardabweichungs-Schwellwert liegt, dann geht die Steuerung zum Block 108 der Routine 100 weiter.

Ansonsten geht die Steuerung zum Block 102 der Routine 100 weiter. Bei anderen Ausführungsformen können andere Größen statt der Standardabweichung verwendet werden. Beispielsweise werden bei Verringerung der Brennstoffstöchiometrie einige "schwache" Zellen in einem Stapel üblicherweise schneller Brennstoffmangelsymptome zeigen (z. B. einen Spannungsabfall) als andere Zellen in dem Stapel. Wird die Brennstoffstöchiometrie verringert, kann der Spannungsabfall an derartigen Zellen exponentiell zunehmen oder wenigstens stärker als bei anderen Zellen in dem Stapel. Daher kann der relative Spannungsabfall einer bestimmten Zelle im Hinblick auf eine vorgegebene Brennstoffverringerung ebenfalls ein Maß dafür liefern, ob die Steuerung von dem Block 102 zum Block 108 der Routine 100 übergeht (beispielsweise indem ein Vergleich mit einer entsprechenden Messung für die anderen Zellen oder mit einem vorgegebenen Schwellwert durchgeführt wird). Bei einigen Ausführungsformen der Erfindung kann die Effizienz auf der Basis einer Untermenge der Zellen des Brennstoffzellenstapels 20 gesteuert werden. Es wird auf Fig. 7 Bezug genommen. Dementsprechend kann der Brennstoffzellenstapel 20 Zellen 23 enthalten, die zur Regelung der Effizienz nicht überwacht werden und eine Untermenge 25 aus einer oder mehreren Zellen, die zur Regelung der Effizienz überwacht werden.

[0030] Die eine oder mehreren Zellen der Untermenge 25 können bei einigen erfindungsgemäßen Ausführungsformen speziell so konstruiert sein, daß ihre Spannungen vor den anderen Zellen 23 unter den vorgegebenen Zellenspannungs-Schwellwert fallen. Beispielsweise können die zu der Untermenge 25 gehörenden Flußplatten Brennstoffflußkanäle aufweisen, die einen kleineren Querschnitt als die Kanäle der anderen Zellen 23 haben, und/oder die zu der Untermenge 25 gehörenden Flußplatten können weniger Brennstoffflußkanäle als die zu den anderen Zellen 23 gehörenden Flußplatten aufweisen. Diese Modifikationen verringern den Brennstoffstrom zur Untermenge 25 hinein im Vergleich zu den anderen Zellen. Daher können die Spannungen der einen oder mehreren Zellen der Untermenge 25 empfindlicher in Bezug auf eine Brennstoffverringerung sein, als die Spannungen der anderen Zellen 23.

[0031] Folglich kann jede der oben beschriebenen Techniken im Zusammenhang mit der Zelle (den Zellen) der Untermenge 25 verwendet werden. Beispielsweise zeigt Fig. 8 eine Routine 170, die anstelle der Routine 100 in dem Fall verwendet werden kann, in dem die Untermenge 25 eine einzige Zelle enthält. Bei der Routine 170 verringert die Steuereinrichtung 60 den Brennstoffstrom zum Stapel 20 um ein vorgegebenes Maß, wie im Block 172 dargestellt ist. Als nächstes erhält die Steuereinrichtung 60 (Block 174) ein die Spannung der Zelle 25 anzeigendes Signal. Danach bestimmt die Steuereinrichtung 60 (Raute 176) aus der Zellenspannung, ob die Effizienz des Stapels im Hinblick auf den Brennstoffstrom verbessert werden kann. Die Steuereinrichtung 60 kann dies unter Verwendung einer der oben beschriebenen Techniken erledigen.

[0032] Wenn die Zellenspannung nach der Verringerung des Brennstoffstroms anzeigt, daß der Brennstoffstapel 20 genügend Brennstoff empfängt, kehrt die Steuerung zum Block 172 zurück und verringert den Ström erneut. Ansonsten hat die Steuereinrichtung 60 den richtigen Brennstoffstrom für einen effizienten Betrieb festgelegt und erhöht (Block 178) den Brennstoffstrom um ein vorgegebenes Maß, um die Brennstoffströmungsgeschwindigkeit wieder

auf den Pegel zu bringen, der vor der letzten Verringerung existierte. Danach verzögert (Block 180) die Steuereinrichtung 60 um eine vorgegebene Zeitdauer, bevor die Steuerung zum Block 172 zurückkehrt.

[0033] Es wird erneut auf Fig. 1 Bezug genommen. Neben anderen Merkmalen des Brennstoffzellensystems 20, kann das System 20 einen Spannungsregler 30 enthalten, der eine Stapelspannung regelt (eine Gleichspannung, die von einem Hauptausgangsanschluß 31 des Brennstoffzellenstapels 20 bereitgestellt wird) und es wandelt diese Spannung über einen Wechselrichter 33 in eine Wechselspannung um. Die Ausgangsanschlüsse 32 des Wechselrichters 33 sind mit dem Verbraucher 50 gekoppelt. Das Brennstoffzellensystem 10 enthält ferner Steuerventile 44, die eine Notabschaltung der Oxidationsmittel- und Brennstoffströme zu dem Brennstoffzellenstapel 20 ermöglichen. Die Steuerventile 44 sind zwischen der Brennstoffeinlaßleitung 37 bzw. der Oxidationsmittelleitung 39 und dem Brennstoffeinlaß bzw. dem Oxidationsmitteleinlaß des Brennstoffzellenstapels 20 angeordnet. Die Brennstoffeinlaßleitung 37 nimmt den Brennstoffstrom von dem Brennstoffprozessor 22 auf, und die Oxidationsmitteleinlaßleitung 39 nimmt den Oxidationsmittelstrom von dem Luftgebläse 24 auf.

[0034] Das Brennstoffzellensystem 20 kann Wasserseparatoren enthalten, beispielsweise die Wasserseparatoren 34 und 36, um Wasser aus den Brennstoff- und Oxidationsmitteleinlaßöffnungen des Stapels 22 wiederzugewinnen. Das von den Wasserseparatoren 34 und 36 gesammelte Wasser kann an einen (nicht dargestellten) Wassertank eines Kühlmittelsystems 54 des Brennstoffzellensystems 10 geleitet werden. Das Kühlmittelsystem 54 läßt ein Kühlmittel (beispielsweise deionisiertes Wasser) durch den Brennstoffzellenstapel 20 zirkulieren, um die Betriebstemperatur des Stapels 20 zu regeln. Das Brennstoffzellensystem 10 kann ferner einen Oxidierer 38 enthalten, um sämtlichen Brennstoff vom Stapel 22 abzufackeln, der in den Brennstoffzellenreaktionen nicht verbraucht wird.

[0035] Um die Ausgangsleistung des Brennstoffzellenstapels 20 zu überwachen, kann das Brennstoffzellensystem 10 einen Stromsensor 49 enthalten, der mit dem Hauptausgangsanschluß 31 des Stapels 20 und dem Eingangsanschluß des Spannungsreglers 30 in Reihe geschaltet ist. Eine elektrische Übertragungsleitung 52 liefert der Steuereinrichtung 60 ein den erfaßten Strom anzeigendes Signal. Auf diese Weise kann die Steuereinrichtung 60 die die Zellenspannungen anzeigenden Signale und die Stapelspannung von der Zellenspannungsüberwachungsschaltung 40 sowie das von dem Stromsensor 49 gelieferte den Ausgangsstrom anzeigende Signal verwenden, um die Ausgangsleistung des Brennstoffzellenstapels 20 zu bestimmen.

[0036] Um den Verbraucher während eines Abschaltvorgangs des Brennstoffzellensystems 10 von dem Brennstoffzellenstapel 20 zu entkoppeln, kann das System 10 einen Schalter 29 (beispielsweise eine Relaischaltung) enthalten, die zwischen dem Hauptausgangsanschluß 31 des Stapels 20 und einem Eingangsanschluß des Stromsensors 49 angeordnet ist. Die Steuereinrichtung 60 kann den Schalter 29 über eine elektrische Übertragungsleitung 50 steuern.

[0037] Bei einigen erfindungsgemäßen Ausführungsformen kann die Steuereinrichtung 60 einen Mikrocontroller und/oder einen Mikroprozessor enthalten, um bei der Ausführung des Programms 65 eine oder mehrere der oben beschriebenen Routinen auszuführen. Beispielsweise kann die Steuereinrichtung 60 einen Mikrocontroller enthalten, der einen Nur-Lese-Speicher (ROM) enthält, der als Speicher 63 dient, und ein Speichermedium zur Speicherung von Befehlen für das Programm 65. Zur Speicherung von Befehlen des Programms 65 können andere Arten von Speicherne-

dien verwendet werden. Es können verschiedene analoge und digitale externe Pins des Mikrocontrollers verwendet werden, um einen Signalaustausch über die elektrischen Übertragungsleitungen 46, 50 und 52 und den seriellen Bus 48 zu ermöglichen. Bei anderen erfindungsgemäßen Ausführungsformen kann ein auf einem separaten Chip, getrennt von dem Mikrocontroller hergestellter Speicher als Speicher 63 verwendet werden und Befehle für das Programm 65 speichern. Andere Abwandlungen sind möglich.

[0038] Fig. 9 zeigt die Zellenspannungsüberwachungsschaltung 40 gemäß einer Ausführungsform der Erfindung. Die Zellenspannungsüberwachungsschaltung 40 enthält Spannungsabtasteinheiten 200, von der jede einer anderen Gruppe von Zellen zugeordnet ist und deren Spannung mißt. Dabei können die elektrischen Übertragungsleitungen 202 die Spannungsabtasteinheiten 200 mit den verschiedenen Anschlüssen des Brennstoffzellenstapels 20 verbinden. Die Masse jeder Spannungsabtasteinheit 200 kann auf einen Anschluß der zugehörigen Gruppe von Zellen bezogen sein, wie in dem US-amerikanischen Patent Nr. 6,140,820 mit dem Titel "MEASURING CELL VOLTAGES OF A FUEL CELL STACK", erteilt am 31. Oktober, 2000, beschrieben ist.

[0039] Bei einigen Ausführungsformen der Erfindung kann die Zellenspannungsüberwachungsschaltung 40 Übertragungsleitungen 206 enthalten, die die gemessenen Zellenspannungen anzeigende Signale von den Zellenspannungsüberwachungseinheiten 200 an eine Schnittstelle 207 übertragen. Die Schnittstelle 207 kann mit einem Bus 212 gekoppelt sein, der wiederum mit einem Speicher 214 gekoppelt sein kann, der die gemessenen Spannungen anzeigende Daten speichert. Eine Steuereinrichtung 208 der Zellenspannungsüberwachungsschaltung 40 kann ein Programm 210 ausführen, um die Steuereinrichtung 208 zu veranlassen, die Zellenspannungsüberwachungseinheiten 200 periodisch zu veranlassen, die Zellenspannungen zu messen, den Speicher 214 zur Speicherung der die gemessenen Spannungen anzeigenden Daten zu veranlassen und eine serielle Busschnittstelle 220 zur Übertragung von die gemessenen Spannungen anzeigenden Signalen über den seriellen Bus 48 an die Steuereinrichtung 60 zu veranlassen.

[0040] Während die Erfindung anhand einer begrenzten Anzahl von Ausführungsformen offenbart wurde, werden Fachleute, denen diese Beschreibung vorliegt, deren zahlreiche Modifikationen und Variationen erkennen. Die beigefügten Ansprüche sollen alle diese Modifikationen und Variationen als unter den Erfindungsgedanken und den Schutzbereich der Erfindung fallend umfassen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Brennstoffzellenstapels, wobei ein Brennstoffstrom dem Stapel zugeführt wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Brennstoffstrom geändert wird; daß das Ansprechverhalten wenigstens einer Zellenspannung des Stapels auf die Änderung des Brennstoffstroms beobachtet wird; und daß die Effizienz des Stapels auf der Grundlage der Beobachtung geregelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Ändern des Brennstoffstroms die Verringerung des Brennstoffstroms um ein vorgegebenes Maß umfaßt.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß das vorgegebene Maß ein vorgegebener Prozentsatz des Brennstoffstroms vor der Verringerung ist.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des Beobachtens umfaßt, daß wenigstens eine Zellenspannung des Stapels gemessen wird, wobei die wenigstens eine Zellenspannung wenigstens einer Zelle zugeordnet ist, die so konzipiert ist, daß sie empfindlicher im Hinblick auf die Änderung des Brennstoffstroms ist als andere Zellen des Stapels.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des Beobachtens umfaßt, daß die wenigstens eine Zellenspannung des Stapels nach der Änderung des Brennstoffstroms gemessen wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des Beobachtens ferner umfaßt, daß bestimmt wird, ob eine der wenigstens einen Zellenspannung unter einem vorgegebenen Zellenspannungsschwellwert liegt.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des Regelns umfaßt, daß der Brennstoffstrom erhöht wird, wenn die eine Zellenspannung unter dem vorgegebenen Zellenspannungsschwellwert liegt.
8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des Regelns umfaßt, daß die Verringerung des Brennstoffstroms solange wiederholt wird, bis die eine Zellenspannung unter dem vorgegebenen Zellenspannungsschwellwert liegt.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des Beobachtens umfaßt, daß bestimmt wird, ob eine vorgegebene Anzahl von Zellenspannungen unter einem vorgegebenen Zellenspannungsschwellwert liegt.
10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei der Schritt des Regelns umfaßt, daß der Brennstoffstrom erhöht wird, wenn die vorgegebene Anzahl von Zellenspannungen unter dem vorgegebenen Zellenspannungsschwellwert liegt.
11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des Regelns umfaßt, daß die Verringerung des Brennstoffstroms solange wiederholt wird, bis die vorgegebene Anzahl von Zellenspannungen unter dem vorgegebenen Zellenspannungsschwellwert liegt.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des Beobachtens umfaßt, daß eine Standardabweichung für die wenigstens eine Zellenspannung bestimmt wird.
13. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des Regelns umfaßt, daß der Brennstoffstrom erhöht wird, wenn die Standardabweichung über einem vorgegebenen Schwellwert liegt.
14. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des Regelns umfaßt, daß die Verringerung des Brennstoffstroms solange wiederholt wird, bis die Standardabweichung über einem vorgegebenen Schwellwert liegt.
15. Brennstoffzellensystem mit einem Brennstoffzellenstapel (20) und einem Brennstoffprozessor (22), um dem Stapel einen Brennstoffstrom zuzuführen, gekennzeichnet durch eine mit dem Brennstoffprozessor (22) und dem Stapel (20) gekoppelte erste Schaltung, die derart ausgebildet ist, daß sie den Brennstoffprozessor steuern kann, den Brennstoffstrom zu ändern, daß sie das Ansprechverhalten wenigstens einer Zellenspannung des Stapels auf die Änderung des Brennstoffstroms beobachten kann, und

- daß sie den Brennstoffprozessor (22) so steuern kann, daß dieser die Effizienz des Stapels (20) auf der Basis der Beobachtung regelt.
16. System nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Schaltung den Brennstoffprozessor (22) so steuert, daß dieser den Brennstoffstrom ändert, indem er den Brennstoffstrom um ein vorgegebenes Maß verringert.
17. System nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß dieses ferner eine zweite Schaltung zum Messen der wenigstens einen Zellenspannung aufweist, wobei der Brennstoffzellenstapel (20) wenigstens eine Zelle aufweist, die der wenigstens einen Zellenspannung zugeordnet ist, wobei die wenigstens eine Zelle derart konzipiert ist, daß sie empfindlicher im Hinblick auf die Änderung des Brennstoffstroms ist als andere Zellen des Stapels, und wobei die erste Schaltung mit der zweiten Schaltung gekoppelt ist, um ein die wenigstens eine Zellenspannung anzeigendes Signal zu empfangen.
18. System nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß dieses ferner eine zweite Schaltung zum Messen der wenigstens einen Zellenspannung aufweist.
19. System nach einem der Ansprüche 16 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Schaltung bestimmt, ob eine der wenigstens einen Zellenspannung unter einem vorgegebenen Zellenspannungsschwellwert liegt.
20. System nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Schaltung den Brennstoffprozessor (22) derart steuert, daß dieser den Brennstoffstrom erhöht, wenn die eine Zellenspannung unter dem vorgegebenen Zellenspannungsschwellwert liegt.
21. System nach Anspruch 20 oder 21, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Schaltung den Brennstoffprozessor derart steuert, daß dieser den Brennstoffstrom weiter verringert, bis die eine Zellenspannung unter dem vorgegebenen Zellenspannungsschwellwert liegt.
22. System nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß dieses ferner eine mit dem Stapel gekoppelte zweite Schaltung aufweist, um der ersten Schaltung ein die wenigstens eine Zellenspannung anzeigendes Signal zu liefern, wobei die erste Schaltung das Signal verwendet, um zu bestimmen, ob eine vorgegebene Anzahl von Zellenspannungen unter einem vorgegebenen Zellenspannungsschwellwert liegt.
23. System nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Schaltung den Brennstoffprozessor (22) derart steuert, daß dieser den Brennstoffstrom erhöht, wenn die vorgegebene Anzahl der Zellenspannungen unter dem vorgegebenen Zellenspannungsschwellwert liegt.
24. System nach Anspruch 23 oder 24, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Schaltung den Brennstoffprozessor derart steuert, daß er den Brennstoffstrom weiter verringert, bis die eine Zellenspannung unter dem vorgegebenen Zellenspannungsschwellwert liegt.
25. System nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß ferner eine zweite Schaltung mit dem Stapel und der ersten Schaltung gekoppelt ist, um die wenigstens eine Zellenspannung zu messen, wobei die erste Schaltung eine Standardabweichung für die wenigstens eine Zellenspannung bestimmt.
26. System nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Schaltung den Brennstoffprozessor

(22) derart steuert, daß er den Brennstoffstrom erhöht, wenn die Standardabweichung über einen vorgegebenen Schwellwert liegt.

27. System nach Anspruch 26 oder 27, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Schaltung den Brennstoffprozessor (22) derart steuert, daß dieser den Brennstoffstrom weiter verringert, bis die Standardabweichung über einem vorgegebenen Schwellwert liegt.

28. Einrichtung mit einem computerlesbaren Speichermedium, das Befehle speichert, die einen Computer veranlassen, mit einem Brennstoffprozessor (22) in Wechselwirkung zu treten, um die Rate zu ändern, mit der der Brennstoffprozessor einem Brennstoffzellenstapel (20) Brennstoff zuführt, das Ansprechverhalten wenigstens einer Zellenspannung des Stapels auf die Änderung des Brennstoffstroms zu beobachten; und den Brennstoffprozessor (22) derart zu steuern, daß er die Effizienz des Stapels (20) auf der Basis der Beobachtung regelt.

29. Einrichtung nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, daß das Speichermedium Befehle speichert, die den Computer veranlassen, die Rate um ein vorgegebenes Maß zu verringern.

30. Einrichtung nach Anspruch 29 oder 30, dadurch gekennzeichnet, daß das Speichermedium Befehle speichert, die den Computer veranlassen, eine Zellenspannungsüberwachungsschaltung (40) zum Messen der wenigstens einen Zellenspannung zu verwenden.

31. Einrichtung nach einem der Ansprüche 29 bis 31, dadurch gekennzeichnet, daß das Speichermedium Befehle speichert, die den Computer veranlassen zu bestimmen, ob eine der wenigstens einen Zellenspannung unter einem vorgegebenen Zellenspannungsschwellwert liegt, und die Regelung der Effizienz des Stapels (20) auf dieser Bestimmung basieren zu lassen.

32. Einrichtung nach einem der Ansprüche 29 bis 32, dadurch gekennzeichnet, daß das Speichermedium Befehle speichert, die den Computer veranlassen zu bestimmen, ob eine vorgegebene Anzahl von Zellenspannungen unter einem vorgegebenen Zellenspannungsschwellwert liegt; und die Regelung der Effizienz des Stapels (20) auf der Bestimmung basieren zu lassen.

33. Einrichtung nach einem der Ansprüche 29 bis 33, dadurch gekennzeichnet, daß das Speichermedium Befehle speichert, die den Computer veranlassen, eine Standardabweichung für die wenigstens eine Zellenspannung zu bestimmen und die Regelung der Effizienz auf der Bestimmung basieren zu lassen.

34. Steuereinrichtung zur Verwendung mit einem Brennstoffprozessor (22) und einem Zellenspannungen liefernden Brennstoffzellenstapel (20), mit:
einer ersten Schaltung zum Messen wenigstens einer Zellenspannung; und

einer mit der ersten Schaltung, dem Brennstoffzellenstapel (20) und dem Brennstoffprozessor (22) gekoppelten zweiten Schaltung, um

den Brennstoffprozessor derart zu steuern, daß er den Brennstoffstrom ändert,

um das Ansprechverhalten wenigstens einer Zellenspannung des Stapels auf die Änderung des Brennstoffstroms zu beobachten, und

den Brennstoffprozessor derart zu steuern, daß er die Effizienz des Stapels auf der Basis der Beobachtung regelt.

35. Einrichtung nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Schaltung den Brennstoffprozessor (22) derart steuert, daß dieser den Brennstoff-

strom ändert, indem er den Brennstoffstrom um ein vorgegebenes Maß verringert.

36. Einrichtung nach Anspruch 35 oder 36, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Schaltung bestimmt, ob wenigstens eine der Zellenspannungen unter einem vorgegebenen Zellenspannungsschwellwert liegt, und den Brennstoffprozessor derart steuert, daß er die Effizienz des Stapels auf der Basis der Bestimmung regelt.

37. Einrichtung nach einem der Ansprüche 35 bis 37, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Schaltung bestimmt, ob eine vorgegebene Anzahl von Zellenspannungen unter einem vorgegebenen Zellenspannungsschwellwert liegt, und den Brennstoffprozessor derart steuert, daß er die Effizienz des Stapels auf der Basis der Bestimmung regelt.

38. Einrichtung nach einem der Ansprüche 35 bis 38, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Schaltung bestimmt, ob eine Standardabweichung für die wenigstens eine Zellenspannung über einem vorgegebenen Schwellwert liegt und den Brennstoffprozessor (22) derart steuert, daß er die Effizienz des Stapels (20) auf der Basis der Bestimmung regelt.

Hierzu 9 Seite(n) Zeichnungen

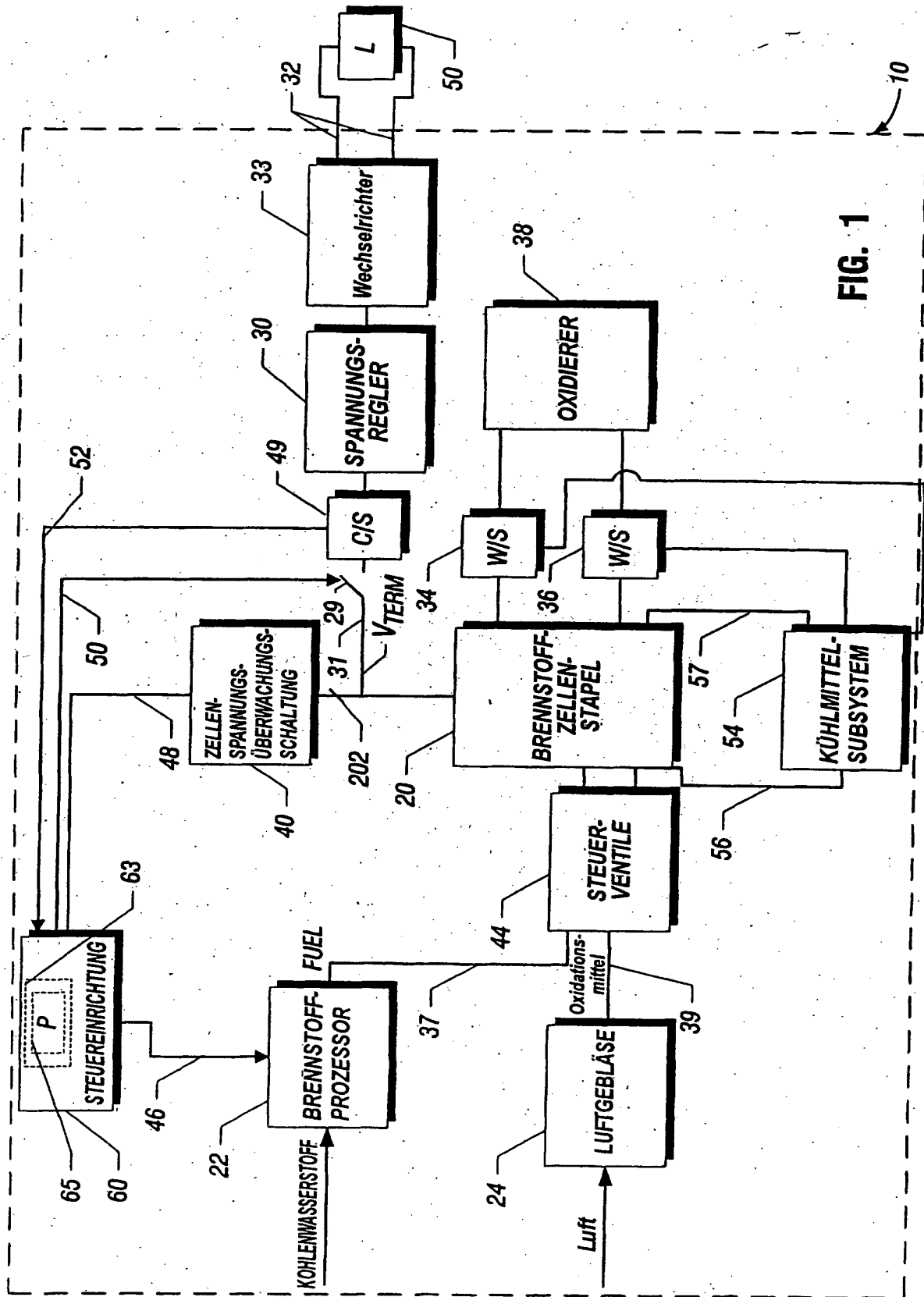


FIG. 1

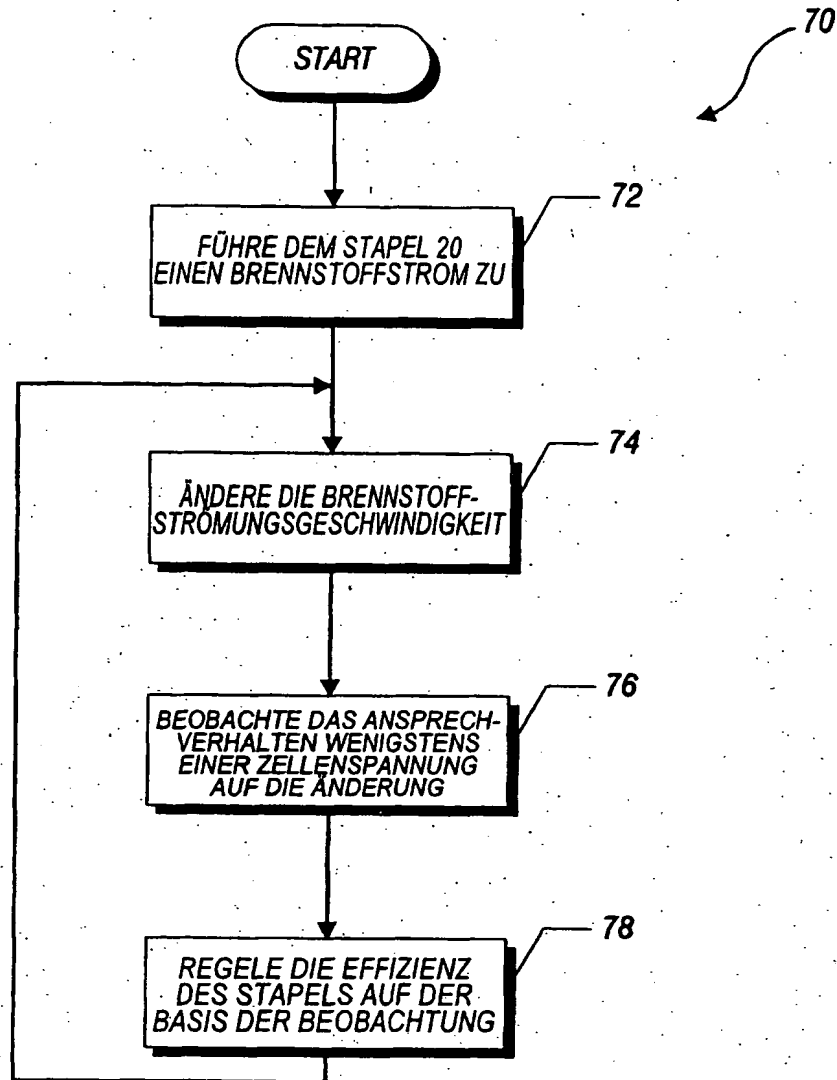


FIG. 2

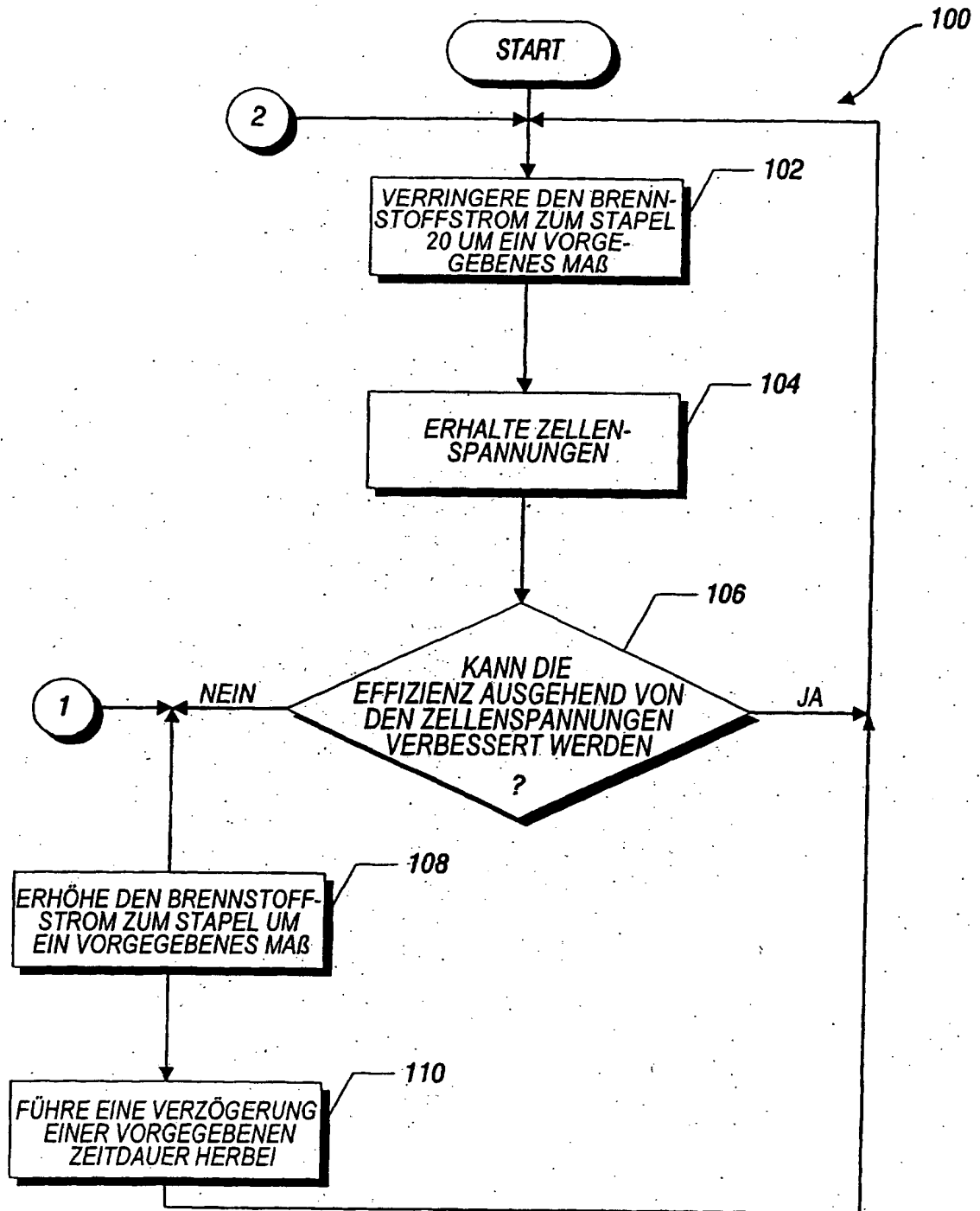


FIG. 3

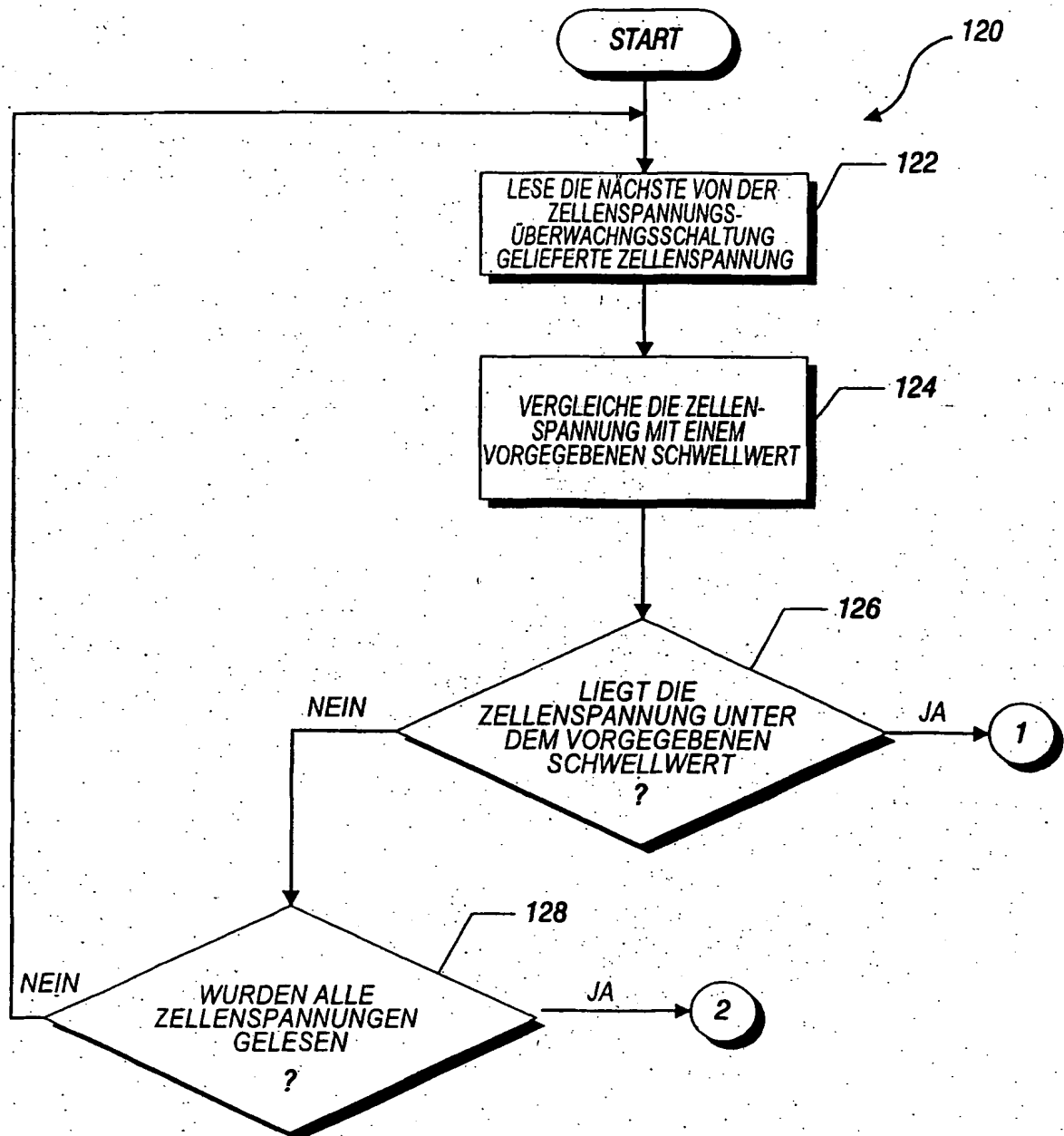


FIG. 4

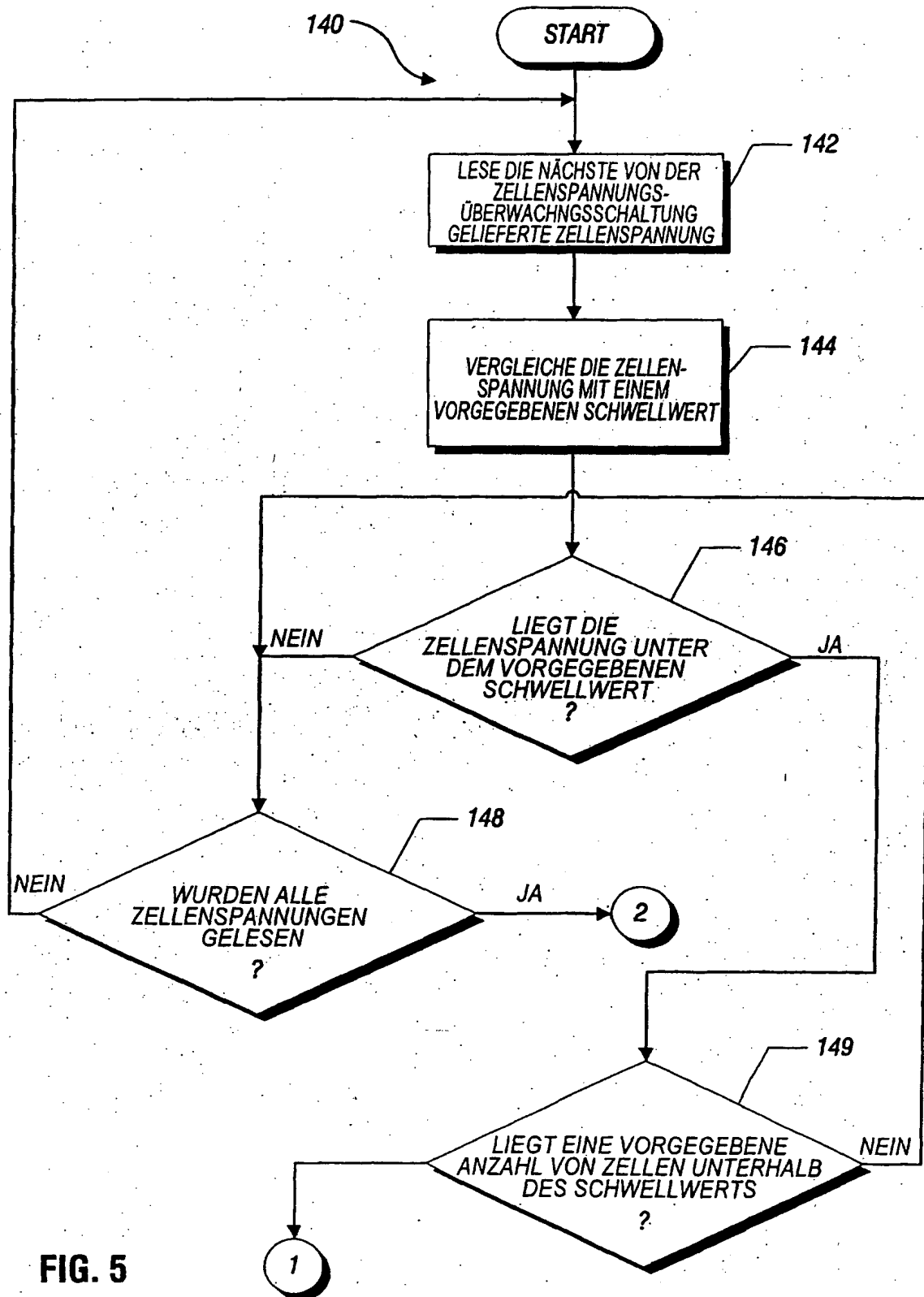


FIG. 5

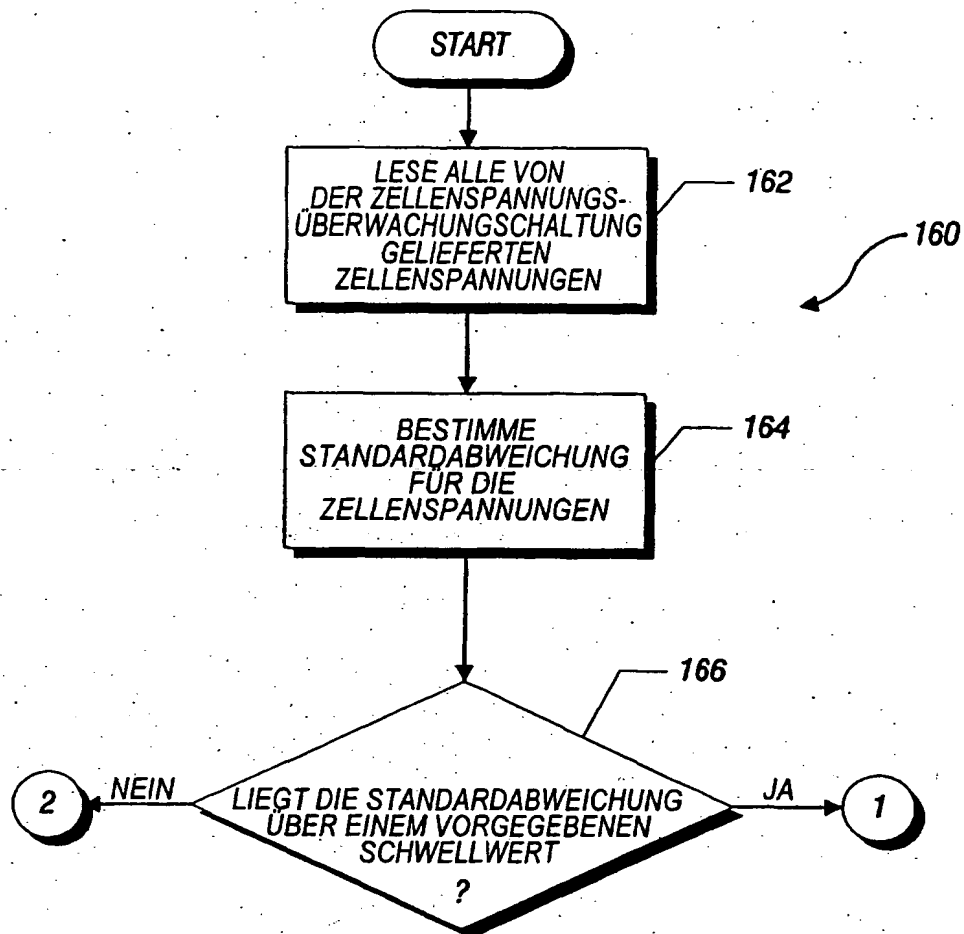


FIG. 6

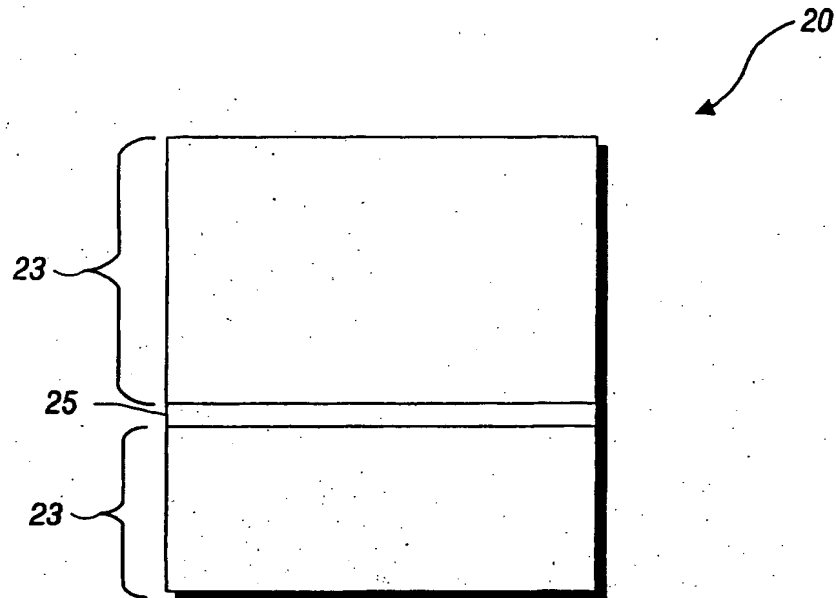


FIG. 7

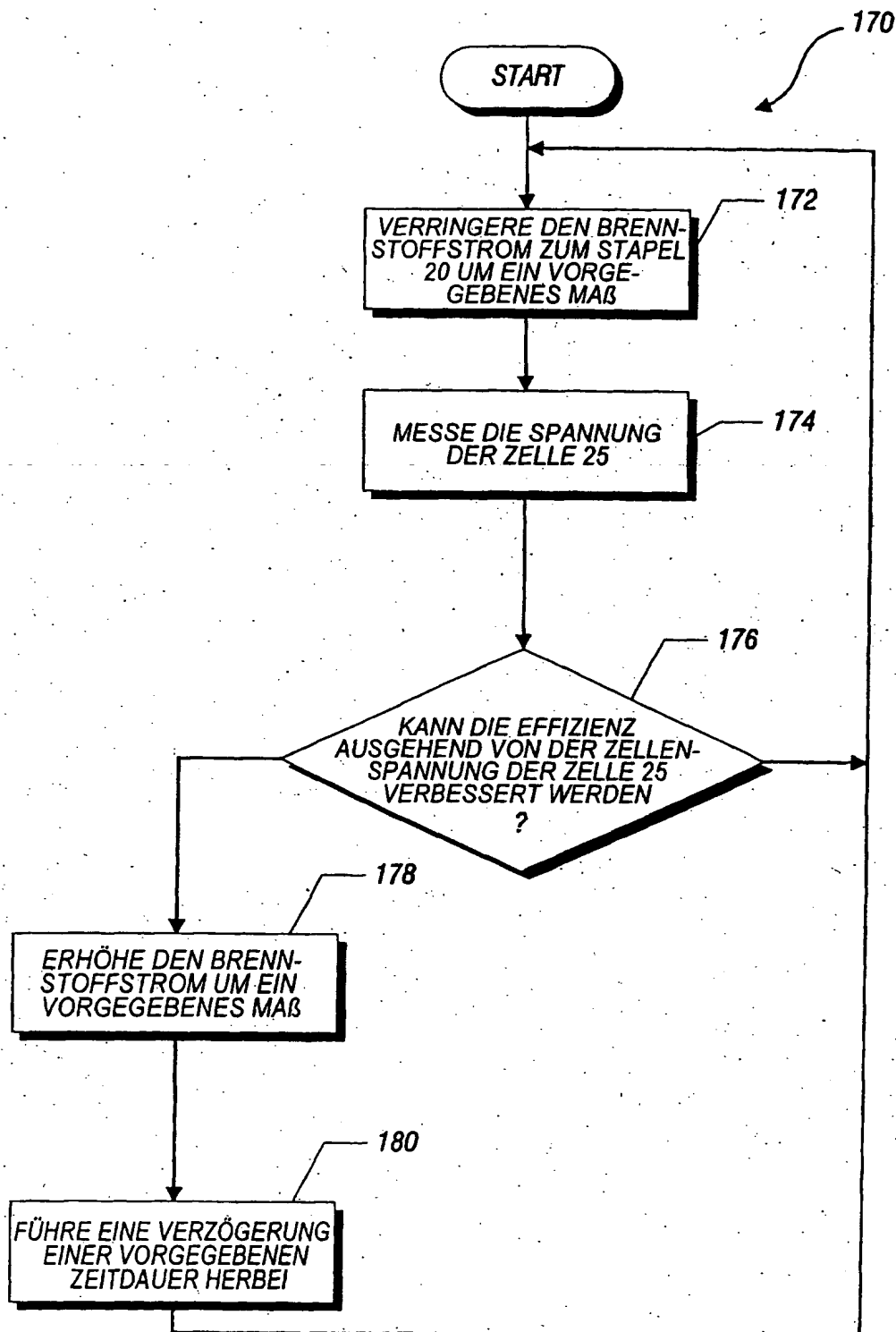


FIG. 8

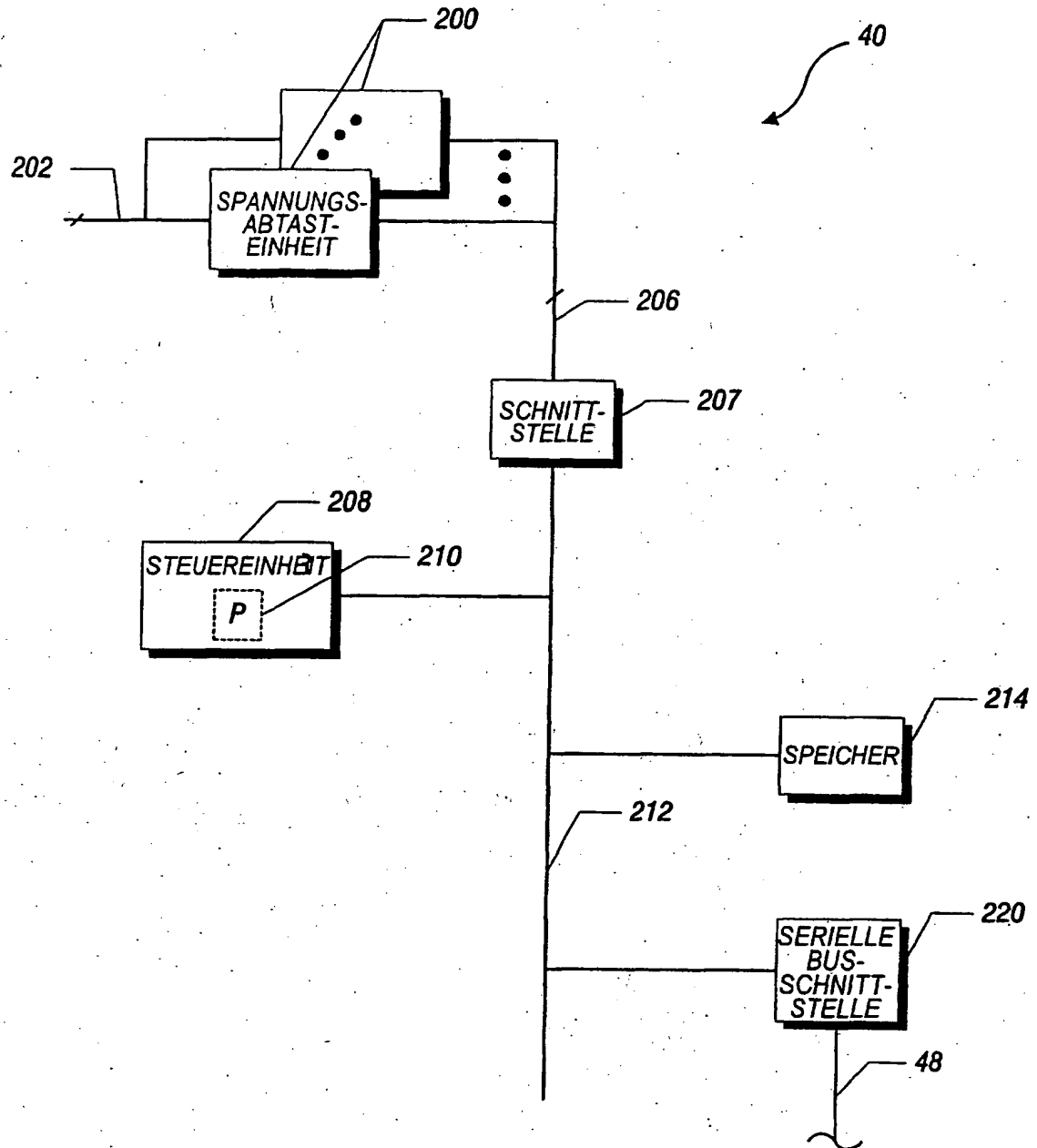


FIG. 9